

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.833

doi: 10.30987/2782-5957-2022-8-13-21

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ВАЛОВ

Петр Николаевич Громько¹, Дмитрий Михайлович Макаревич^{2✉}, Станислав Николаевич Хатетовский³, Андрей Сергеевич Макаревич⁴

^{1,2,3,4} Белорусско-Российский университет, Могилев, Республика Беларусь

¹ grom_7@tut.by; <https://orcid.org/0000-0001-7770-0257>

² makarevitchdm@yandex.by; <https://orcid.org/0000-0002-6418-0173>

³ meclab@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3991-3627>

⁴ andreimakarevich1996@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0653-8077>

Аннотация

Целью исследования является разработка компьютерной модели эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов, а также оценка основных эксплуатационных показателей.

В статье представлена основная структурная схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов. Разработан компоновочный вариант и компьютерная модель передачи, произведена симуляция ее работы и получены результаты компьютерных исследований. Компьютерная модель и методика оценки основных эксплуатационных показателей позволяют оптимизировать параметры передачи, а также усовершенствовать ее структуру.

Методы исследования базируются на инструментарию системы автоматизированного проектирования, который позволяет осуществлять симуляцию механизмов, в том числе зубчатых пере-

дач. Встроенные в систему автоматизированного проектирования различные инструменты анализа кинематики и динамики позволяют считывать угловые скорости и крутящие моменты. Данные значения служат основой для оценки коэффициента полезного действия и погрешности вращения звеньев эксцентриковой передачи.

Новизна работы заключается в исследовании нового механизма, позволяющего создавать малогабаритные приводные устройства с параллельным расположением входного и выходного валов.

Результаты исследования включают оценку коэффициента полезного действия и погрешности вращения выходного вала эксцентриковой передачи.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, эксцентриковая передача, показатели, сателлит, колесо.

Ссылка для цитирования:

Громько П.Н. Разработка компьютерной модели для оценки основных показателей эксцентриковых передач с параллельным расположением входного и выходного валов / П.Н. Громько, Д.М. Макаревич, С.Н. Хатетовский, А. С. Макаревич // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 8. – С. 13 – 21. doi: 10.30987/2782-5957-2022-8-13-21.

Original article

Open Access Article

DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODEL TO EVALUATE THE MAIN INDICATORS OF ECCENTRIC GEARS WITH A PARALLEL ARRANGEMENT OF INPUT AND OUTPUT SHAFTS

Pyotr Nikolaevich Gromyko¹, Dmitry Mikhailovich Makarevich^{2✉}, Stanislav Nikolaevich Khatetovsky³, Andrey Sergeevich Makarevich⁴

^{1,2,3,4} Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

¹ grom_7@tut.by; <https://orcid.org/0000-0001-7770-0257>

² makarevitchdm@yandex.by; <https://orcid.org/0000-0002-6418-0173>

³ meclab@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3991-3627>

⁴ andreimakarevich1996@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0653-8077>

Abstract

The study objective is to develop a computer model of an eccentric gear with a parallel arrangement of input and output shafts, as well as an evaluation of their main performance indicators.

The paper presents the basic block diagram of an eccentric gear with parallel arrangement of input and output shafts. A layout variant and a computer model of the gear are developed, its operation is simulated and the results of computer study are obtained. A computer model and a method for evaluating the main performance indicators allow optimizing gear parameters, as well as improving its structure.

The research methods are based on the tools of the automated design system, which gives the opportunity to simulate mechanisms, including toothed

gears. Various kinematics and dynamics analysis tools built into the computer-aided design system allow reading angular velocities and torques. These values serve as the basis for evaluating the efficiency and error of rotation of eccentric gear links.

The novelty of the work is in the study of a new mechanism that allows the creation of small-sized drive devices with a parallel arrangement of input and output shafts.

Study results include an evaluation of the efficiency and error of rotation of the the eccentric gear output shaft.

Keywords: computer modeling, eccentric gear, indicators, satellite, wheel.

Reference for citing:

Gromyko PN, Makarevich DM, Khatetovsky SN, Makarevich AS. Development of a computer model to evaluate the main indicators of eccentric gears with parallel arrangement of input and output shafts. *Transport Engineering*. 2022;8:13–21. doi: 10.30987/2782-5957-2022-8-13-21.

Введение

Многообразие применяющихся об- щемашиностроительных приводных устройств предопределяет расширение ас- сортимента редукторных механизмов, от- личающихся компоновочными решениями и эксплуатационными показателями. Из- вестны ременные, цепные и одноступенча- тые зубчатые механические передачи с па- раллельным расположением входного и выходного валов. Как правило, данные пе- редачи не обеспечивают передаточное от- ношение более 10, что существенно огра-

ничивает сферу их применения. Такие пе- редачи, соединенные в многоступенчатом редукторе, предопределяют относительно большие его габариты [1-10].

Возможно создание редукторов с па- раллельным расположением входного и выходного валов на основе особых зубча- тых передач. Этими передачами являются эксцентрикковые передачи с параллельным расположением входного и выходного ва- лов, обеспечивающие значительные пере- даточные отношения: от 10 до 70 [4].

Основная кинематическая схема эксцентриковой передачи с параллельным распо- ложением входного и выходного валов

На рис. 1 показана кинематическая схема эксцентриковой передачи с парал- лельным расположением входного и вы- ходного валов [1]. Данная передача содер- жит входной вал 1, расположенный на не- подвижных подшипниковых опорах 2 и 5. На входном валу 1 жестко посажен криво- шип 3. Кривошип 3 составляет с сателли- том 6 вращательную пару с помощью опорной втулки 4. На заданном расстоянии

от оси вращения входного вала 1 распо- ложены опорные втулки 7 и 16, которые со- единены с дополнительными кривошип- ами 10 и 17, посаженными на опорные подшипники 8 и 15. На внутренней по- верхности сателлита 6 имеется внутренний зубчатый венец 9, ось которого распо- ложена на расстоянии L от оси вращения входного вала 1 [2]. На выходном валу 14, расположенном на подшипниковых опорах

12 и 13, посажено центральное колесо 11 с наружными зубьями, входящими во взаи-

модействие с внутренними зубьями зубчатого венца 9.

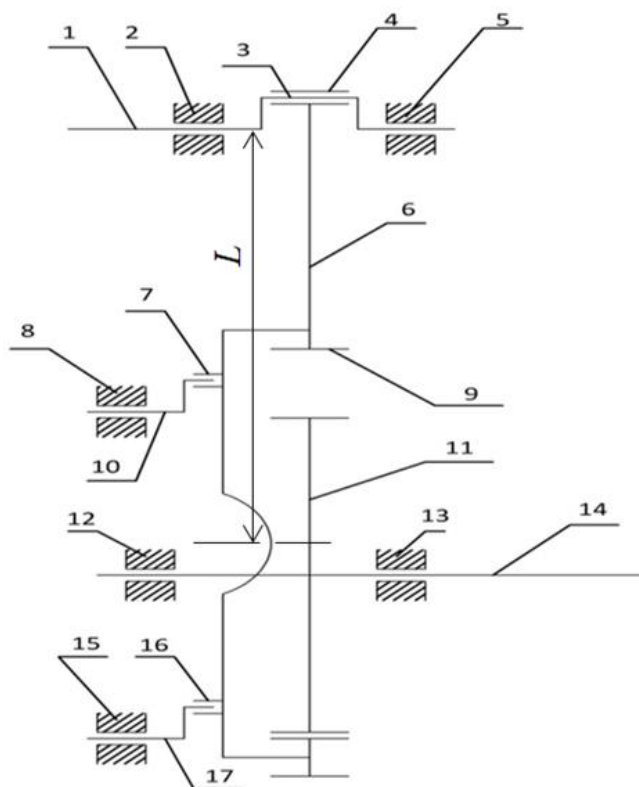


Рис. 1. Кинематическая схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного ее валов

Fig. 1. Kinematic diagram of an eccentric transmission with a parallel arrangement of its input and output shafts

При вращении входного вала 1 за счет поступательного движения сателлита 6 происходит взаимодействие внутреннего зубчатого венца 9 с наружным центральным колесом 11. Передаточное отношение

эксцентриковой передачи определяется отношением количества зубьев внутреннего зубчатого венца 9 и количеством зубьев центрального колеса 11.

Разработка компоновочного варианта редуктора на основе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Для создания компьютерной модели эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов необходимо разработать компоновочный вариант соответствующего редуктора. На рис. 2 и 3 показаны виды компоновочного варианта редуктора.

На входном вале 1 расположен эксцентриковый кривошип 2, представляющий собой эксцентриковую часть входного вала 1. На наружной поверхности эксцентрикового кривошипа 2 с помощью под-

шипников посажен сателлит 4, на котором размещены оси 7, входящие в неподвижные отверстия крышках корпуса 5, 6. Причем основная ось расположения всех осей 7 на корпусе сателлита 4 находится на расстоянии L от оси эксцентрикового кривошипа 2. На внутренней поверхности сателлита 4 имеется венец, состоящий с указанными выше осями 7, входящий в зацепление в зубья наружного колеса 8, ось которого параллельна оси входного вала 9.

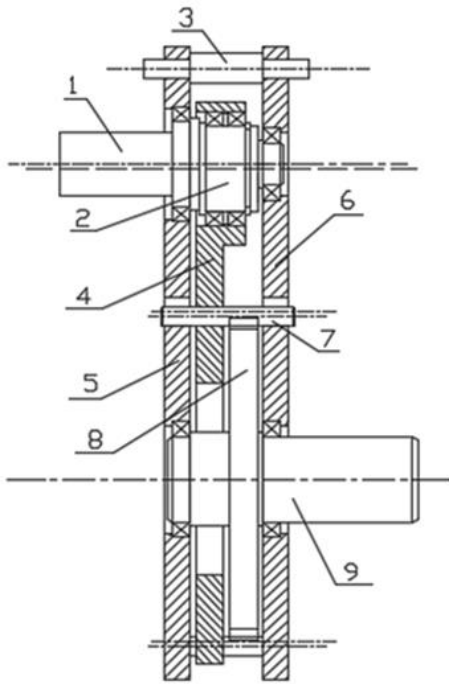


Рис. 2. Вид редуктора с разрезом
Fig. 2. View of the gearbox with a section

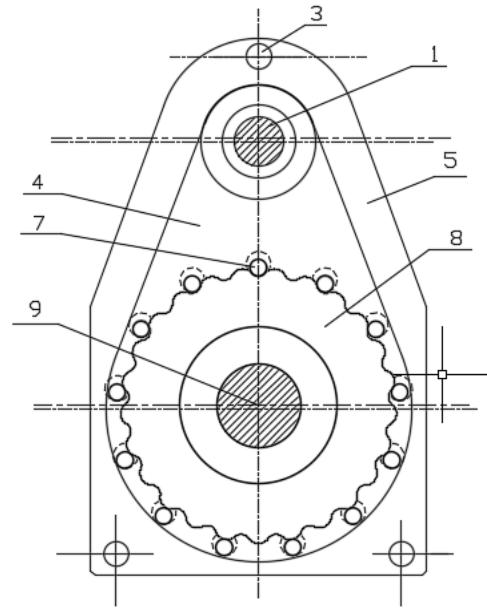


Рис. 3. Вид редуктора (без крышки корпуса 6)
Fig. 3. Type of gearbox (without housing cover 6)

Разработка компьютерной модели эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Исследование зубчатых передач методами компьютерного моделирования рассмотрено в работах [1, 3, 4]. Компьютерная модель эксцентриковой передачи изображена на рис. 4: 1 – эксцентриковый

кривошип; 2 – входной вал; 3 – неподвижная крышка корпуса; 4 – ось сателлита; 5 – сателлит; 6 – центральное наружное колесо.

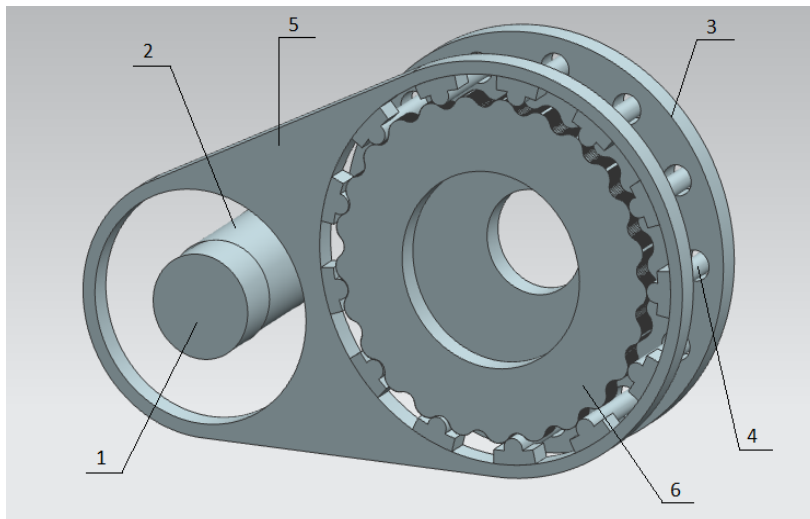


Рис. 4. Вид компьютерной модели эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов
Fig. 4. View of a computer model of an eccentric transmission with a parallel arrangement of input and output shafts

Для компьютерного исследования эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного ва-

лов в среде САПР NX необходимо создать объекты симуляции.

Создание контактов осуществляется

с помощью меню «3D контакт», в котором задаются контактирующие поверхности осей 4 и внутренних зубьев сателлита 5 и назначаются коэффициенты статического и динамического трения. С помощью меню «Движитель» задается угловая скорость вращения входного вала 2. Следующим шагом является создание на центральном колесе 6 вращающего момента сопротивления. Также задаются параметры решения: количество шагов – 300 и время – 10 секунд. Затем данное решение запускают на расчет.

Чтобы вывести полученные результаты в виде графических зависимостей,

необходимо произвести следующие действия. С помощью контекстного меню «Solution» выбираем опцию «XY-Graphing». Для получения необходимых для исследования зависимостей строим следующие графики: «RZ, Displacement», «RZ, Velocity», «TZ, Torque», «FM, Force». Для обработки и оценки полученных результатов необходимо экспортировать данные результаты в таблицы *Excel*.

В качестве выходных показателей эксцентриковой передачи, были взяты: плавность вращения выходного вала, КПД зацепления, а также силы в зацеплении зубьев сателлита.

Результаты компьютерных исследований передачи эксцентрикового типа с параллельным расположением валов

Ниже приведены графики (рис. 5-7), отражающие зависимости погрешности вращения выходного вала, КПД зацепления зубчатой пары и значений реакций в подшипниковых опорах от угла поворота входного вала эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов [2, 5].

Результаты графических зависимостей позволяют определить основные показатели эксцентриковой передачи с па-

раллельным расположением входного и выходного валов при передаточном отношении редуктора, равном 24, мощности входного вала 2 кВт, скорости вращения входного вала 1500 об/мин.

Погрешность вращения выходного вала составляет 10-19 угловых минут. Среднее значение КПД зацепления не превышает 75 %. Силы в зацеплении не превышают 10000 Н.

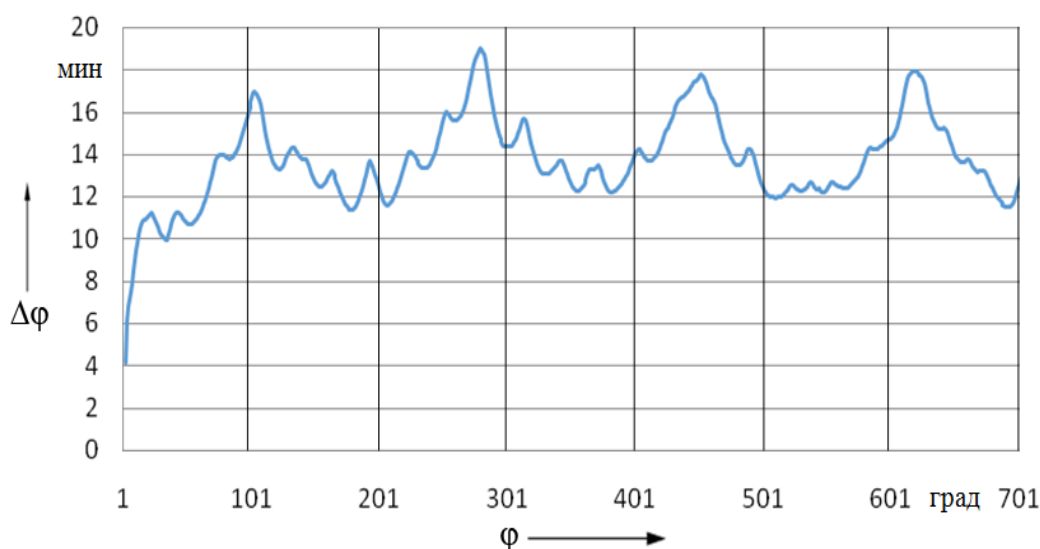


Рис. 5. Зависимость погрешности вращения выходного вала от угла поворота входного вала эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Fig. 5. The dependence of the error of rotation of the output shaft on the angle of rotation of the input shaft of an eccentric transmission with a parallel arrangement of the input and output shafts

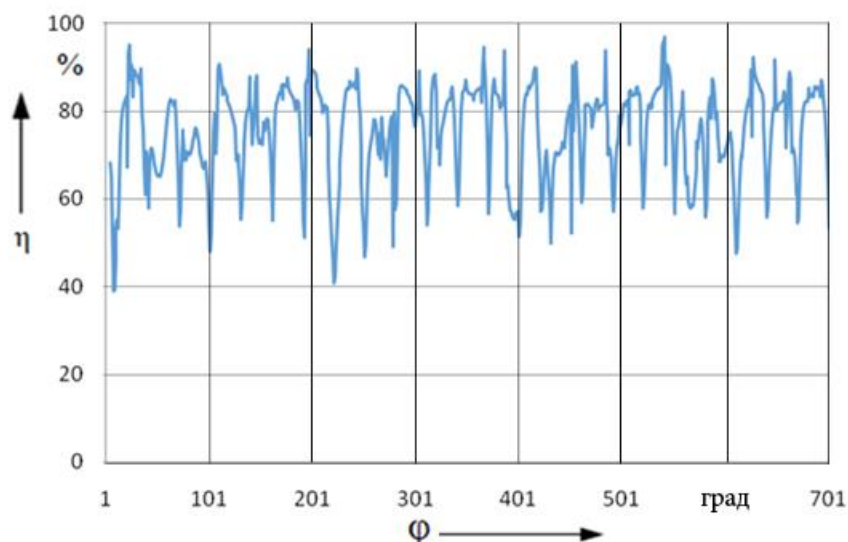


Рис. 6. Зависимость КПД от угла поворота входного вала эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов
Fig. 6. The dependence of efficiency on the angle of rotation of the input shaft of an eccentric transmission with a parallel arrangement of the input and output shafts

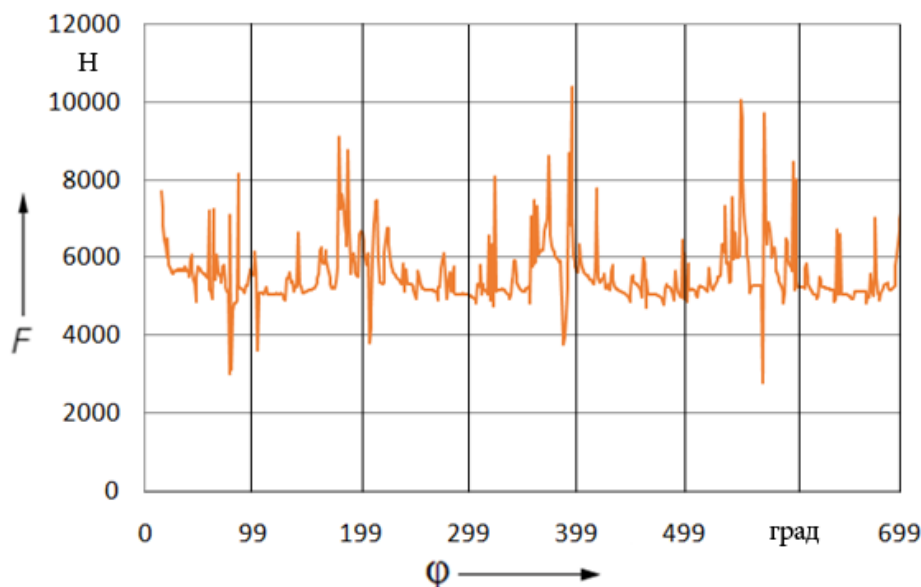


Рис.7. График зависимости сил в зацеплении от угла поворота входного вала эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов
Fig. 7. Graph of the dependence of the forces in the engagement on the angle of rotation of the input shaft of the eccentric transmission with a parallel arrangement of the input and output shafts

Заключение

Показана основная структурная схема эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов, на основе которой разработан компоновочный вариант и компьютерная модель. Разработана компьютерная модель и методика для оценки основных показате-

телей, позволяющая получать осуществлять оптимизацию основных параметров, а также совершенствование структуры эксцентриковой передачи при параллельном расположении входного и выходного валов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Макаревич С.Д., Макаревич А.С. Результаты компьютерных исследований эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов с одним потоком мощности. Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции. Белорусско-Российский университет, Могилев, 23-24 апреля 2020 г. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2020. С.89-90.
2. Громыко П.Н., Хатетовский С.Н., Юркова В.Л. Использование удлиненной эпициклоиды для формообразования зубчатых поверхностей передач эксцентрикового типа. Вестник Белорусско-Российского университета. 2019; №1:14-21.
3. Макаревич А.С., Громыко П.Н. Передачи эксцентрикового типа с параллельным расположением входного и выходного валов. 55-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конф. 03-04 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос.ун-т, 2019. – С. 106-108.
4. Gromyko P.N., Khatetovsky S.N. Modeling of eccentric transmission operation in presence of elastic deformations of contacting links. *Advances in Engineering Research*. 2018;158:160-164.
5. Громыко П.Н. и др. Компьютерное моделирование планетарных прецессионных передач: монография. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007. 271 с.
6. Громыко П.Н., Хатетовский С.Н. Сравнительный анализ эксцентриковых передач с различными видами зацепления зубчатых колес. Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Минск: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, 2020. Вып. 9. С. 199-202.
7. Громыко П.Н., Хатетовский С.Н. Минимизация габаритных размеров эксцентриковых передач на основе совершенствования геометрии зацепления контактирующих колес. Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Минск: Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, 2019. Вып. 8. С. 67-70.
8. Громыко П.Н., Трусов И.В., Хатетовский С.Н. Снижение себестоимости изготовления передач эксцентрикового типа на основе применения специальных профилей зубьев контактирующих колес. Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. С. 77.
9. Громыко П.Н., Хатетовский С.Н. Влияние погрешностей изготовления и сборки на эксплуатационные характеристики передач эксцентрикового типа. Инновационные технологии в машиностроении: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета. Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т, 2020. С. 165-167.
10. Хатетовский С.Н., Громыко П.Н. Модификация зубьев колес передат эксцентрикового типа. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2020. 180 с.

REFERENCES

1. Makarevich SD, Makarevich AS. Results of computer studies of eccentric gear with parallel arrangement of input and output shafts with one power flow. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference: Materials, Equipment and Resource-saving Technologies*; 2020 Apr 23-24; Mogilev: Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", 2020. p.89-90.
2. Gromyko PN, Khatetovsky SN, Yurkova VL. Use of an elongated epicycloid for forming gear surfaces of excentric gears. *Vestnik of Belarusian-Russian University*. 2019;1:14-21.
3. Makarevich AS, Gromyko PN. Eccentric gears with parallel arrangement of input and output shafts. *Proceedings of the 55th Student Scientific and Technical Conference of the Belarusian-Russian University*; 2019 May 03-04; Mogilev: Belarusian-Russian University; 2019.
4. Gromyko PN, Khatetovsky SN. Modeling of eccentric transmission operation in presence of elastic deformations of contacting links. *Advances in Engineering Research*. 2018;158:160-164.
5. Gromyko PN. Computer modeling of planetary precession transmissions: monograph. Mogilev: Belarusian-Russian University; 2007.
6. Gromyko PN, Khatetovsky SN. Comparative analysis of eccentric gears with different types of gear engagement. *Collection of Scientific Papers: Actual Issues of Mechanical Engineering*. Minsk: United Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus. 2020;9:199-202.
7. Gromyko PN, Khatetovsky SN. Minimization of the overall dimensions of eccentric gears on the basis of improving the gearing geometry of the contacting wheels. *Collection of Scientific Papers: Actual Issues of Mechanical Engineering*. Minsk: United Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus. 2019;8:67-70.
8. Gromyko PN, Trusov IV, Khatetovsky SN. Reduction of the cost to manufacture eccentric gears

based on the use of special profile teeth of contacting wheels. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference: Materials, Equipment and Resource-saving Technologies. Mogilev: Belarusian-Russian University, 2020. p. 77.

9. Gromyko PN, Khatetovsky SN. Influence of manufacturing and assembly errors on the performance characteristics of eccentric gears. Collection of papers of International Scientific and Technical Con-

ference dedicated to the 50th anniversary of machine-building specialties and the 15th anniversary of the Scientific and Technological Park of Polotsk State University: Innovative Technologies in Mechanical Engineering. Novopolotsk: Polotsk State University, 2020. p. 165-167.

10. Khatetovsky SN, Gromyko PN. Modification of eccentric gear teeth. Mogilev: Belarusian-Russian University; 2020.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Патент RU 2292494 C2.** Муфта равных угловых скоростей и регулирующая система для нее. [Текст] / Томпсон Гленн Александр. - №2003131326/11 ; заяв. 26.03.2002; опуб. 27.01.2007. - 3 с.
2. **Попок, Н. Н., Хмельницкий, Р. С., Гвоздь, Г. И., Анисимов, В. С.** Многоцелевая обработка поверхностей деталей на станках с ЧПУ // Инновационные технологии в машиностроении / Эл. сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. Новополоцк, 21-22 апр. 2020 г. / Полоц. гос. ун-

т ; под. ред. В. К. Шелега; Н. Н. Попок. – Новополоцк, 2020. – С. 83-86.

3. **Гончаров, П. С.** Расчет параметров прецессионного редуцирующего механизма с подвижными роликами для электропривода сельскохозяйственной лебедки : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 "Машиноведение, системы приводов и детали машин" / П. С. Гончаров ; Павел Станиславович Гончаров; ГУВПО "Белорусско-Российский университет"; Науч. рук. д-р техн. наук, проф. П. Н. Громько. - Могилев, 2013. – 24 с.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. **Thompson GA.** Patent RU 2292494 C2. Clutch of equal angular velocities and regulating system for it. no. 2003131326/11. 2007 Jan 27.
2. **Popok NN, Khmelniitsky RS, Gvozd GI, Anisimov VS.** Multipurpose surface treatment of parts on CNC machines. Electronic collection of papers of international scientific and technical conference of Novopolotsk: Innovative Technologies in Mechan-

cal Engineering; 2020 Apr 21-22; Novopolotsk:Polotsk State University, 2020. p. 83-86.

3. **Goncharov PS.** Calculation of the parameters of a precession reducing mechanism with movable rollers for the electric drive of an agricultural winch [abstract of the dissertation]. [Mogilev (Belorussia)]; Belarusian-Russian University; 2013.

Информация об авторах:

Громько Петр Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета, AuthorID: 797186.

Макаревич Дмитрий Михайлович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии металлов» Белорусско-Российского университета, AuthorID: 800921.

Gromyko Pyotr Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal-cutting Machines and Tools, Belarusian-Russian University, AuthorID: 797186.

Makarevich Dmitry Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Technologies, Belarusian-Russian University, AuthorID: 800921.

Хатетовский Станислав Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета, AuthorID: 800906.

Макаревич Андрей Сергеевич – аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета.

Khatetovsky Stanislav Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metal-cutting Machines and Tools, Belarusian-Russian University, AuthorID: 800906.

Makarevich Andrey Sergeevich, Post graduate student of the Department of Metal-cutting Machines and Tools, Belarusian-Russian University.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 15.04.2022; принята к публикации 25.07.2022. Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент, директор учебно-научного технологического института Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 10.01.2022; approved after review on 15.04.2022; accepted for publication on 25.07.2022. The reviewer is Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Director of the Educational and Scientific Technological Institute of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.